

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Modernizace rozvodny 6 kV v Teplárně Trmice a.s.
Modernization of the Substation 6 kV in Teplárna
Trmice a.s.

2015

Bc. Josef Růžička

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Josef Růžička**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907T001 Elektroenergetika**
Téma: **Modernizace rozvodny 6 kV v Teplárně Trmice a.s.
Modernization of the Substation 6 kV in Teplárna Trmice a.s.**

Zásady pro vypracování:

1. Popište stávající stav rozvodny.
2. Charakterizujte důvody modernizace rozvodny.
3. Navrhněte technické řešení a proveďte jeho posouzení.

Seznam doporučené odborné literatury:


HILIRMAN, Josef a kol. Příručka silnoproudé elektrotechniky. Praha : SNTL, 1984, 1032 s.

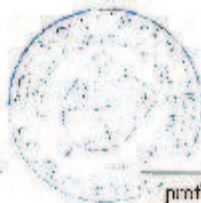
Formální náležitosti a obsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Věslav Mach**

Datum zadání: **01.09.2013**

Datum odevzdání: **07.05.2015**


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Šašel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení studenta/ky

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 31.7.2015

Podpis studenta/ky: 

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Věslavu Machovi, VŠB-Technická univerzita Ostrava, dále panu Ing. Petru Moravčíkovi a panu Jiřímu Topinkovi, Teplárna Trmice - oddělení péče o zařízení elektro a MaR za spolupráci a předání odborných znalostí.

Abstrakt

Téma diplomové práce vychází z praktických požadavků oddělení Elektro a MaR v Teplárně Trmice. Je zde popsán současný stav rozvodny R6kV-K6 se zaměřením na použité elektrické přístroje a jejich údržbu, na míru bezpečnosti obsluhy při provozních a údržbových manipulacích a celkovou provozní spolehlivost.

V další kapitole jsou shrnuty aktuální trendy ve výrobě VN rozvodných zařízení a v modernizaci starých, které již nevyhovují současným nárokům na bezpečnost a spolehlivost provozu, popř. jsou již na prahu životnosti a náklady na údržbu jsou tak neúměrně vysoké.

Všechny tyto poznatky jsou v závěru kapitoly aplikovány i na konkrétní případ rozvodny R6kV-K6, z čehož vyplývají důvody, proč investovat do modernizace.

V poslední kapitole jsou poté uvedena praktická variantní řešení s následným vyhodnocením. Celá tato práce by tak mohla posloužit jako podklad pro budoucí zadávací dokumentaci.

Klíčová slova: VN rozvodné zařízení, modernizace VN rozvodny, spínací přístroje VN, skříňový rozváděč VN, elektrické ochrany rozváděče VN, zkratová odolnost

Abstract

The theme of the thesis is based on the practical requirements from the department of Electronics and Instrumentation in the Trmice Heating plant. There is described the current state of the switchboard R6kV-K6 focusing on used electrical devices and their maintenance, on level of safety during operation and maintenance and overall reliability.

The next chapter summarizes current trends in production of high voltage devices and in modernization of old ones, which no longer meet current demands on safety and reliability of operation, or they are already on the threshold of life time and cost of maintenance is therefore too high.

All these findings are at the end of the chapter also applied to the specific case of switchboard R6kV-K6 resulting in reasons why to invest into modernization.

The last chapter then presents practical alternative solutions with subsequent evaluation. This thesis could also help as a basis for future entry documentation.

Keywords: high voltage device, modernization of HV switchboard, high voltage switchgear, case HV switchboard, power protection of the HV switchboard, short-circuit resistance

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC – alternating current – střídavý proud

DC - direct current – stejnosměrný proud

ES – elektrizační soustava

I_k (A) – Rázový zkratový proud (základní jednotka ampér)

I_z (A) – proudové zatížení (základní jednotka ampér)

KKS - Kraftwerk Kennzeichen System (systém pro značení zařízení elektráren).

MaR – Měření a regulace

NOx – Oxidy dusíku

P – elektrický výkon (základní jednotka watt)

VS – vlastní spotřeba

VN – vysoké napětí

VVN – velmi vysoké napětí

TTR – Teplárna Trmice

$\cos \varphi$ - účinník (bez rozměru)

η – účinnost (bez rozměru)

Obsah

Úvod.....	8
1. Stávající stav rozvodny R6kV (B68BBA00)	9
1.1 Technický popis	10
1.1.1 Technické parametry	13
1.1.2 Spojení uzlů vinutí transformátorů	13
1.1.2 Popis odboček.....	14
1.1.3 Popis ovládání a výbavy stávajícího rozváděče	16
1.1.4 Ostatní doplňkové technické údaje	19
2.1 Současné trendy v oblasti VN rozvodných zařízení	22
2.1.1 Konstrukce a provedení VN rozvodných zařízení	23
2.1.2 Spínací přístroje použité ve VN skříňových rozváděcích.	24
2.1.3 Ochrany používané ve VN skříňových rozváděcích.	26
2.1.4 Měření a řízení.....	28
2.1.5 Výrobci VN skříňových rozváděčů a typové řady	29
2.1.6 Normy a typové zkoušky	32
2.2 Důvody modernizace rozvodny R6kV (B68BBA00).....	33
3. Návrh technického řešení modernizace rozvodny	34
3.1 Kompletní výměna stávajících rozváděčových skříní bez výměny kabelového vedení	34
3.1.1 Napěťové úrovně	34
3.1.2 Spojení uzlů vinutí transformátorů	34
3.1.3 Zkratová odolnost.....	34
3.1.4 Přípojnícový systém	36
3.1.5 Určení provedení z hlediska působení vnějších vlivů	36
3.1.6 Způsob provozu	36
3.1.7 Typ rozváděče.....	36
3.1.8 Schéma odbočky	38
3.1.9 Ovládání a ochrany	41
3.1.10 Cenová kalkulace	41
3.2 Kompletní výměna stávajících rozváděčových skříní s výměnou kabelového vedení	42
3.2.1 Soupis stávajících kabelů	42
3.2.2 Dimenzování vodičů – kontrola	43
Závěr	46
Použitá Literatura	47
Seznam příloh	48

Úvod

Tato diplomová práce vznikla na základě praktických požadavků z oddělení péče o zařízení - elektro a MaR v Teplárně Trmice. Jak už z názvu tohoto oddělení vyplývá, jeho úkolem je správa majetku v oblasti elektro, měření a regulace. K této správě patří především tzv. běžná údržba zařízení, která zahrnuje pravidelnou preventivní údržbu a korektivní údržbu vyplývající z poruch/závad na zařízení. Preventivní údržba je nástrojem pro předcházení poruch/závad. Z velké části je dána legislativními požadavky, jelikož se jedná o elektrické zařízení a platí tedy obecné předpisy a normy. Dále může vycházet z vnitropodnikových předpisů, popř. z praktických zkušeností pracovníků. V současné době je krom těchto požadavků také rozhodující ekonomická stránka údržby. V oblasti elektroenergetiky je beze sporu vždy méně nákladné zajistit např. včasnou revizi, diagnostiku či jinou kontrolu a předejít tak rozsáhlým škodám na majetku způsobeným neočekávaným nadproudem, přepětím atp. v úseku, kterým elektrické ochrany např. vlivem poruchy nedokázaly včas zamezit. Každé elektrické zařízení, přístroj, kabel či drát je složen z materiálů, které mají svojí určitou životnost. V praxi se tato životnost vztahuje většinou na celý výrobek a je definován časovým rozsahem, kterou výrobce garantuje při běžném používání. Pokud tedy tato doba uplyne, je nasnadě výměna za nový. Tato životnost však v praxi bývá mnoha činiteli ovlivňována a její snižování po dobu provozu lze jen prostřednictvím vhodné diagnostiky predikovat. Dalším ekonomickým aspektem hospodárného provozu je samotná technologie. Rozvoj nových technologií v celé oblasti elektrozařízení a elektroniky má vliv na snižování vlastní spotřeby elektrického zařízení, na efektivnější přeměnu různých forem energií na elektrickou a naopak, na samotnou životnost, na spolehlivost, bezpečnost a v neposlední řadě i komfort samotné obsluhy. Volba a s ní spojené riziko je tedy na správci zařízení, zda ponechá zařízení v provozu a s blížícím se koncem životnosti vynaloží náklady na častější kontroly, diagnostiku a nebo se rozhodne pro větší investici a koupí nové. Tato diplomová práce řeší otázku životnosti a hospodárnosti provozu konkrétní rozvodny 6 kV a výsledek práce by měl sloužit jako podklad pro budoucí rozhodnutí o osudu této rozvodny.

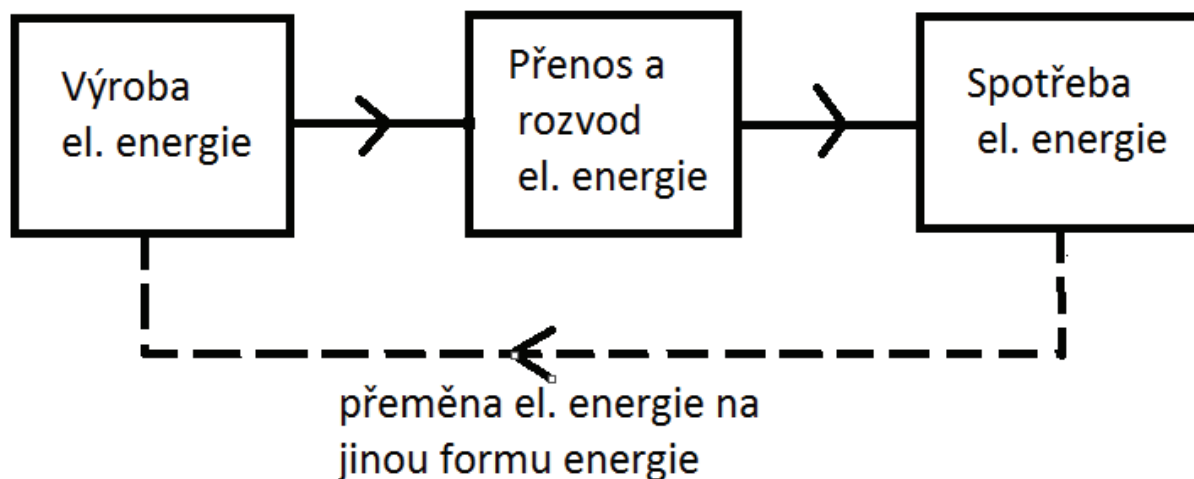
V I. kapitole je rozebrán současný stav rozvodny 6kV v Teplárně Trmice, použité přístroje, možnosti ovládání, míra spolehlivosti a bezpečnosti provozu. Dále jsou zhodnoceny dosavadní vynaložené náklady na běžnou údržbu, predikce životnosti a ostatní aspekty spojené s provozem a údržbou. V každé podkapitole pak je část věnována teorii, aby i laik, který nemá elektrotechnické vzdělání, avšak by mohl mít vliv na rozhodování případné investice, pochopil danou problematiku.

II. kapitola je v první části věnována obecné otázce modernizace rozvodu. Najdeme zde hlavní důvody a také zde najdeme současné trendy v tomto odvětví. Druhá část je již vztažená na konkrétní důvody modernizace rozvodny 6kV v Teplárně Trmice.

III. kapitola se poté zabývá technickým řešením modernizace rozvodny. Jednotlivé návrhy jsou rozděleny do variant dle rozsahu. V závěru jsou pak jednotlivé varianty posouzeny jak z hlediska ekonomického, tak i z hlediska spolehlivosti, bezpečnosti a náročnosti na obsluhu a údržbu.

1. Stávající stav rozvodny R6kV (B68BBA00)

V učebních a odborných publikacích je elektrizační soustava definována jako soubor vzájemně propojených zařízení určených pro výrobu, přenos, transformaci a v neposlední řadě také k distribuci elektrické energie ke konečnému spotřebiteli, viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Pro výrobu elektrické energie, kterou získáváme z přeměn jiných forem energie, využíváme složité technologické celky, které mnohdy ke své funkci potřebují řadu dalších pomocných technologií. Teplárna Trmice je klasickou kogenerační jednotkou, která je primárně zdrojem tepla a jako sekundárním produktem je elektrická energie. V terminologii elektroenergetiky bychom tento zdroj elektrické energie řadili mezi klasické tepelné elektrárny, kde primárním zdroje energie je fosilní palivo. Pro uvolnění energie z fosilního paliva využíváme proces spalování. Z uvolněné energie ve formě tepla vyrábíme páru v tzv. parogenerátoru a tu následně využíváme buď k ohřevu vody pro účely dodávky tepla konečným spotřebitelům a nebo k další přeměně na energii mechanickou v parní turbíně, která pohání generátor, jenž vyrábí elektrickou energii. Hlavním výrobním technologickým celkem v Teplárně Trmice je tak kotel, kde probíhá proces spalování a výroba páry. Skládá se ze spalovací komory, tlakového celku a pomocných zařízení pro dopravu a úpravu paliva, pro přívod vzduchu a odvod spalin. Pro řízení a zabezpečení spolehlivého provozu kotle jsou z 99% využívány elektrické pohony, které lze v současnosti snadno ovládat na dálku a celý proces zautomatizovat díky sofistikovaným řídicím systémům. Nemusíme tedy chodit ani příliš daleko a spotřeba el. energie je součástí samotné její výroby. Tuto spotřebu nazýváme odborně **vlastní spotřebou elektrárny**.



Obr. 1. Schématické znázornění základních procesů v ES.

V současné době disponuje TTR dvěma hlavními vysokotlakými práškovými kotli K5, K6, dvěma staršími vysokotlakými roštovými kotli K1, K4 a dvěma středotlakými práškovými kotli K7, K8 pro posílení v zimním období. Krom hlavního výrobního technologického celku kotle musí teplárna zajistit spolehlivou výrobu a dopravu upravené napájecí vody, kde opět najdeme čerpadla s elektrickým pohonem o velkých výkonech, které se velkou mírou podílejí na vlastní spotřebě.

K zajištění spolehlivé dodávky el. energie pro všechny výrobní i nevýrobní bloky TTR slouží obdobně jako v celé ES rozvodná síť rozdělená elektrickými stanicemi, které podle funkce dělíme na:

- Transformovny
- Spínací stanice
- Měnírny
- Kompenzační stanice
-

Spínací stanice je souborem zařízení, které slouží ke spínání elektrických obvodů o stejné napěťové hladině a stejné proudové soustavě pro rozvod elektrické energie. Vztaženo na rozvodné zařízení elektráren jde o rozvodny VVN a VN.

Pro potřeby různých napěťových hladin dle jmenovitých napětí spotřebičů, popř. za účelem hospodárnějšího přenosu výkonu na větší vzdálenosti, využíváme **transformátory napětí**, jejichž konstrukční rozměry jsou dány velikostí výkonu a způsobem chlazení. Pro vlastní spotřebu bloků TTR II, III a IV včetně odsíření o napěťové hladině 6 kV jsou určeny transformátory T11, T12, T13. Transformátory T12 a T13 slouží zároveň i jako blokové pro transformaci výstupního napětí na generátorech TG6, TG7 a TG8 na napěťovou hladinu 35 kV.

Zdrojem stejnosměrné napájecí soustavy o napětí 220 V jsou statické tyristorové usměrňovače umístěné v centrální akumulátorové stanici TTR. Jako záložní zdroj při výpadku střídavé elektrické sítě jsou za usměrňovači odbočky na akumulátorové baterie o kapacitě dimenzované na odběr nejdůležitějších zařízení po dobu cca 2 hodin.

Celkový přehled elektrické rozvodné sítě TTR viz příloha č. 1.

1.1 Technický popis

Rozvodna R6kV, se nachází v budově TTRII,III (nové označení budovy S56UHA00 - STAVEBNÍ OBJEKT K5 A K6, TG 7 A TG 8, CHÚV 2) v části strojovny na 0,0 m. Tato rozvodna byla vybudována v rámci výstavby vysokotlakého práškového kotle K5 v roce 1973 a v roce 1982 byla rozšířena o nové skříňové rozváděče při výstavbě dalšího VT kotle K6, pro který byla tato rozvodna určena, Obr. 2 a Obr. 3. V současné době je tvořena 26 - ti poli Obr. 4.

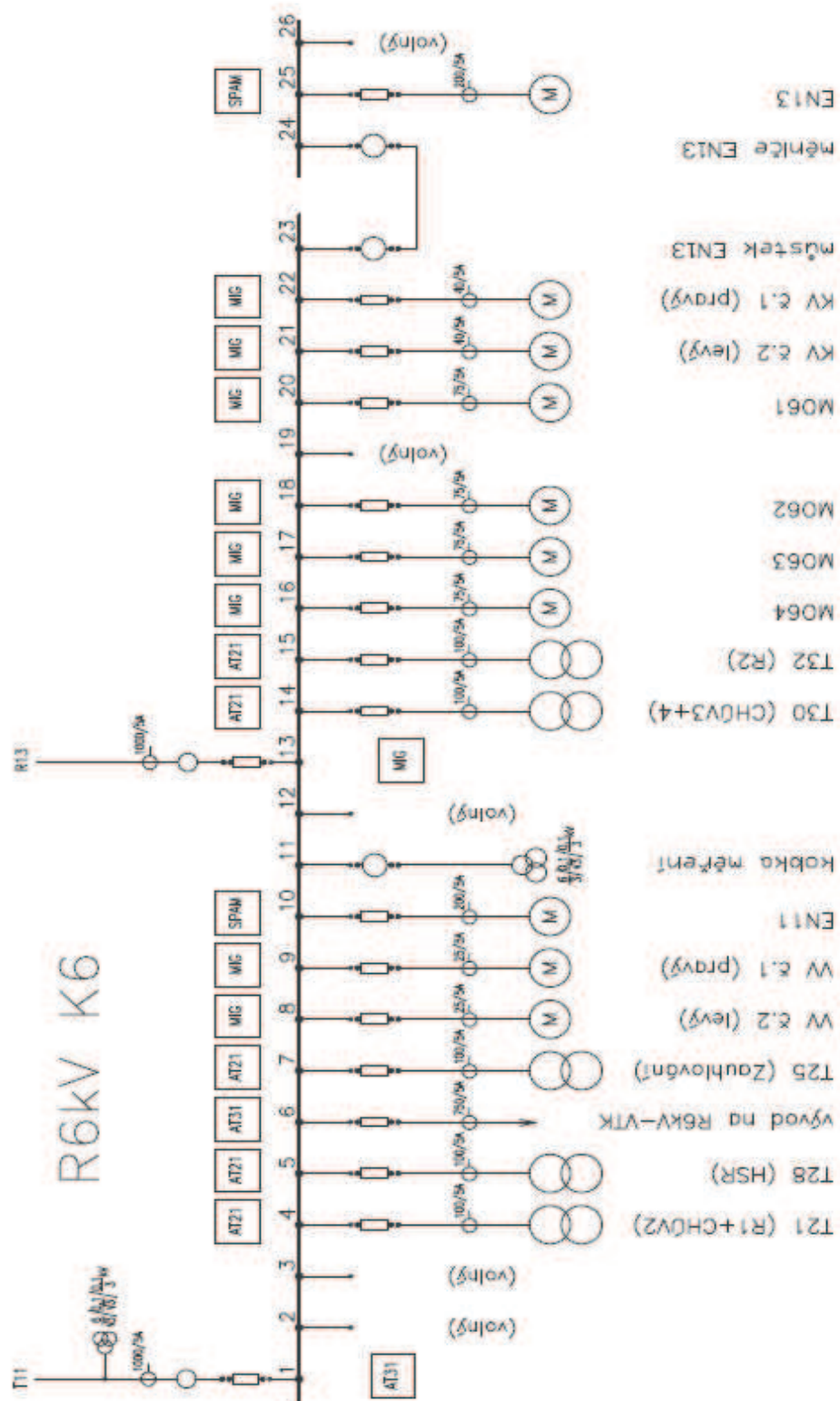
Od roku 2001 docházelo k postupnému přeznačování elektro zařízení dle standardu tzv. jednotného značení elektráren a každé elektrozařízení v technologii bylo tak nutné přeznačit dle projektové pozice, tzv. KKS. Rozvodně s původním označením R6kV - K6 byl přiřazen KKS číslo B68BBA00 a jednotlivá pole se rozlišují pomocí posledního dvojčíslí KKS viz příloha č. 2 – jednopólové schéma rozváděče K6 rozdělené na tři části.



Obr. 2. Rozváděč VN skříňového provedení 1. část – aktuální stav.



Obr. 3. Rozváděč VN skříňového provedení 2. část – aktuální stav.



Obr. 4. Zjednodušené jednopólové schéma rozvodny R6kV-K6. Stávající stav.

1.1.1 Technické parametry

Typ	: IRODEL
Provedení	: Vnitřní skříňový
Krytí	: IP 30
Výrobní číslo	: 39 – 15 937, rozšířená část 39 – 7215/02
Jmenovité napětí	: 6000 (V)
Jmenovitý proud	: 1250 (A)
Maximální proud	: 107 (kA)
Tepelný proud	: 34 (kA)
Jmenovitá frekvence	: 50 (Hz)
Rok výroby	: 1980
Výrobce	: EJF Brno
Počet polí	: 26
Typ vypínačů	: HL 4 – 8 , 8348
Šířka skříně/pole	: 800 [mm]

1.1.2 Spojení uzlů vinutí transformátorů

Jelikož způsob spojení vinutí transformátorů se zemí má podstatný vliv na chování sítě při poruchovém stavu, kdy dojde k vodivému spojení jedné fáze se zemí, rozlišujeme sítě:

- Izolované
- Neúčinně uzemněné
- Sítě účinně uzemněné

Sítě izolované nemají na straně vinutí transformátoru uzel spojený se zemí, což má za následek při zemním spojení jedné fáze nárůst napětí na ostatních zdravých fázích vůči zemi na napětí sdružené. Dále se objeví napětí fázové mezi uzlem vinutí transformátoru a zemí. Sít' se tak při tomto poruchovém stavu nemusí odpojovat, což je její velkou výhodou. Nevýhodou je však nutnost dimenzovat izolaci minimálně na sdružené napětí sítě. Při přerušovaném zemním spojení mohou vznikat i značná přepětí, která mohou způsobit tzv. dvojité zemní spojení nebo-li dvoufázový zkrat a sít' je nutné odpojit.

Sítě neúčinně uzemněné mají na straně vinutí transformátoru uzel spojený se zemí přes velkou impedanci. V praxi se používají například **sítě kompenzované**, kde se pro snížení zemního proudu používá zhašecí tlumivka známá jako Petersenova cívka. Tato cívka je zdrojem induktivního proudu a pokud tento proud odpovídá velikosti proudu tekoucím místem zemního spojení, který má teoreticky čistě kapacitní charakter, dojde k jeho vykompenzování a v místě poruchy teče teoreticky nulový proud. V praxi bývá tento proud v místě poruchy velice malý, což přináší nevýhodu v detekci místa zemního spojení. Na druhé straně toto řešení má úsporu v nákladech pro uzemnění, jelikož ho lze dimenzovat jen na tento zbytkový proud.

Sítě účinně uzemněné mají uzel vinutí transformátoru spojený přímo se zemí, popř. přes malou impedanci. Při zemním spojení jedné fáze zůstává napětí mezi uzlem vinutí transformátoru a zemí nulové a mezi zdravou fází a zemí zůstává fázové napětí. Na rozdíl od sítě izolované můžeme tak izolaci vedení dimenzovat jen na jmenovité fázové napětí, což vede k velké úspoře nákladů. Tato výhoda je však vykoupena velikostí jednofázového zkratového proudu, kdy musíme při zemním spojení jedné fáze v co nejkratší době odpojit tuto část vedení.

V tabulce Tab. 1 jsou uvedeny praktické příklady použití spojení uzlu transformátoru se zemí podle použité napěťové úrovně v síti.

Tab. 1. Možnosti spojení uzlu transformátoru s praktickými příklady použití dle napěťové hladiny sítě [2].

	Napěťová úroveň	Jmenovité napětí	Uspořádání rozvodu	Spojení uzlu transformátoru
Nadřazená soustava	vvn	400 kV	Okružní	Účinně uzemněný
		220 kV		
Distribuční soustava	vn	110 kV	Průběžný, paprskový, dvojpaprskový (obvykle s možností spojení do okružního)	Neúčinně uzemněný - většinou kompenzovaný
		22 kV, 35 kV		
		10 kV		
	nn	6 kV	Průběžný, paprskový, mřížová síť	Neúčinně uzemněný, nebo izolovaný
		500 V		
		400/230 V		

Transformátory T11 a T13 nemají uzel sekundárního vinutí spojený se zemí a z tohoto hlediska je síť na této straně transformátoru posuzována jako síť izolovaná. Všechna kabelová vedení na této sekundární straně tak musí mít izolaci dimenzovanou na sdružené napětí v případě zemního spojení jedné fáze se zemí.

1.1.2 Popis odboček

Odbočkou se rozumí napojení na přípojnicí. Podle směru toku elektrické energie rozlišujeme odbočky přívodní (napájecí) a odbočky vývodové (spotřebičové). Dále můžeme odbočky dělit podle účelu na hlavní (motorové, transformátorové, generátorové, a jiné) a pomocné (spínače podélného, příčného či kombinovaného dělení přípojníc, měření napětí, a jiné). Ve skříňovém provedení rozváděče VN je odbočka vždy dle požadované funkce v samostatném poli oddělená

od ostatních odboček přepážkou. Jednotlivá pole rozváděče obsahují soubor elektrických přístrojů a zařízení dle účelu odbočky. V terminologii rozvodných zařízení výbavu jednoho pole nazýváme výzbrojí. Mezi základní výzbroj odbočky patří:

- Spínací přístroj – plní funkci zapínání a vypínání bez zatížení nebo pod zatížením (vypínač, odpínač, stykač, odpojovač)
- Vývodový odpojovač (s uzemňovačem) – slouží pro viditelné rozpojení kabelového vedení na výstupu od rozváděče
- Přípojnicový odpojovač – slouží pro viditelné rozpojení odbočky od přípojnice
- Elektrické ochrany, měřicí a signalizační zařízení
- Měřicí transformátory napětí a proudu – převod na unifikované měřené hodnoty

Přívodní odbočky:

V poli č. 13 (nové značení B68BBA13) je přivedeno napětí z odbočky umístěné za sekundární stranou vývodového transformátoru T13 (nové značení B68BAT10) přes reaktor R13 kabely 6-ANKAY 3x185mm délky 35 m. Tento přívod je hlavním zdrojem 3. fázového střídavého napětí 6 kV, o frekvenci 50 Hz.

V poli č. 1 (nové značení B68BBA01) je přivedeno napětí z odbočky umístěné za sekundární stranou transformátoru T11 určeného jako záložní zdroj 3. fázového střídavého napětí 6 kV pro vlastní spotřebu (bloky TTR II a III). Použité kabely 6-ANKAY 1x185 délky 100 m Tento přívod je brán jako záložní.

Přívod je proveden trubkovým vodičem z kabelového kanálu, s měřením napětí na přívodní straně (proudový převod 1000/5 A)

Dálkové přejetí těchto přívodních odboček bylo původně možné ze starého velínu K6, který se již nepoužívá. V případě potřeby musí obsluha použít místní ovládání umístěné přímo na skříňovém rozváděči.

Vývodové odbočky:

Pole č. 2, 3, 12 a 19 - prázdné pole, průběžná skříň.

Pole č. 4 a 5 - motorový vývod - vzduchový ventilátor 200 kW, proudový převod 25/5 A.

Pole č. 4, 5, 7, 14 a 15 - transformátorový vývod - transformátory pro vlastní spotřebu 1000 kVA, proudový převod 100/5 A.

Pole č. 10 a 25 - motorový vývod – elektronapáječka 1850/2000 kW, proudový převod 300/5 A.

Pole č. 16, 17, 18 a 20 - motorový vývod – ventilátorový mlýn 320/400 kW, proudový převod 50/5 [A]

Pole č. 26 – prázdné pole, rezerva.

Pole č. 23 a 24 – vodivé spojení přípojníc.

Pole č. 11 - pole měření napětí přípojníc.

Pole č. 6 - vývod pro rozváděč 6 kV R6VTK (nové označení S14BBA00), proudový převod 750/5 A.

Pole č. 21 a 22 - motorový vývod - spalínový ventilátor 400 kW, proudový převod 40/5 A.

1.1.3 Popis ovládání a výbavy stávajícího rozváděče

Pole obsahující vypínač jsou vybavena místní signalizací stavu vypínače na předním panelu rozváděče. Každé pole je vybaveno relátkem pro hlídání ztráty ovládacího napětí. Ostatní výzbroj jednotlivých polí včetně způsobu ovládání viz Tab. 2

Tab. 2. Přehled použitých přístrojů a ovládání jednotlivých odboček.

č. pole	Účel	Soupis použitých přístrojů	Ovládání
1	Záložní přívod	elektromagnetická ochrana AT31	
		vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		měřicí transformátor napětí	
		pojistky	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
2	Volný		
3	Volný		
4	Vývod - prim. Strana T21 (vlastní spotřeba)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		elektromagnetická ochrana AT21	
5	Vývod - prim. Strana T28 (vlastní spotřeba)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
		elektromagnetická ochrana AT21	
6	Vývod - napájení rozvodny TTRI (vlastní spotřeba)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		elektromagnetická ochrana AT21	
7	Vývod - prim. Strana T25 (vlastní spotřeba)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		elektromagnetická ochrana AT21	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
8	Motorový vývod (L VV)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	

9	Motorový vývod (P VV)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
10	Motorový vývod (EN11)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
11	měření napětí	Propojovací můstek	
		pojistky	
		měřicí transformátor napětí	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
12	rezerva		
13	Hlavní přívod - vyvedení výkonu TG8 přes reaktor R13	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		Odpojovač	
		měřicí transformátor proudu	
		měřicí transformátor napětí	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
		elektrická ochrana MIG II	
14	Vývod - sekund. Strana T30	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
		elektromagnetická ochrana AT21	
15	Vývod - sekund. Strana T30	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní
		měřicí transformátor proudu	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
		elektromagnetická ochrana AT21	
16	Motorový vývod (MO64)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
17	Motorový vývod (MO63)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové

		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
18	Motorový vývod (MO62)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
19		rezerva	
20	Motorový vývod (MO61)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
21	Motorový vývod (L VV)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
22	Motorový vývod (P VV)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
		elektrická ochrana MIG II	
23	Spojnice přípojníc	Odpojovač	místní
24	Spojnice přípojníc	Odpojovač	místní
25	Motorový vývod (EN13)	vypínač VN maloolejový HL4-8	místní/dálkové
		měřicí transformátor proudu	
		elektrická ochrana MIG II	
		záblesková ochrana (diodový čidla)	
26	Rezerva		

1.1.4 Ostatní doplňkové technické údaje

Technické údaje transformátoru T11:

Typ	: 40T164/82
Výrobce	: ČKD Praha
Výrobní číslo	: 1.195386
Rok výroby	: 1972
Jmenovitý výkon	: 10 000 kVA
Jmenovité napětí prim	: 35 000 V +- 5%
Jmenovité napětí sek.	: 6 300 V
Jmenovitý proud prim.	: 165 A
Jmenovitý proud sek.	: 917 A
Jmenovitá frekvence	: 50 Hz
Napětí nakrátko	: 11,3 %
Zapojení	: Yd1
Chlazení	: OFCV
Hmotnost oleje	: 5655 kg
Olej	: TECHNOL 2000

Technické údaje transformátoru T13:

Typ	: 53T174/104
Výrobce	: ČKD Praha
Výrobní číslo	: 1.201088
Rok výroby	: 1980
Jmenovitý výkon	: 25 000 kVA
Jmenovité napětí prim.	: 35 000 V +- 5%
Jmenovité napětí sek.	: 6 300 V
Jmenovitý proud prim.	: 393 A
Jmenovitý proud sek.	: 2 290 A
Jmenovitá frekvence	: 50 Hz
Napětí nakrátko	: 8,38 %
Zapojení	: Yd1
Chlazení	: OFCV
Hmotnost oleje	: 14 000 kg

Technické údaje spotřebičů:

Ventilátorový mlýn MO63

Typ	: EMT 263 – 8
Krytí	: IP 44 /AC01-51
Tvar	: IM 101
Izolace	: B
Výkon	: 500 kW
Jmenovité napětí	: 6000 V
Jmenovitý proud	: 64 A
Jmenovitá frekvence	: 50 Hz
Jmenovité otáčky	: 742 ot/min
Hmotnost	: 5800 kg
Rok výroby	: 1980
Výrobce	: MEZ Drásov
V.č.	: 137684

Ventilátorové mlýny MO61, 62 a 64

Typ	: 1N4 600 S
Krytí	: IP 44 /AC01-51
Tvar	: IM 1001
Izolace	: B
Výkon	: 500 kW
Jmenovité napětí	: 6000 V
Jmenovitý proud	: 64 A
Jmenovitá frekvence	: 50 Hz
Jmenovité otáčky	: 742 ot/min
Hmotnost	: 5800 kg
Rok výroby	: 1989
Výrobce	: MEZ Drásov
V.č.	: 154645, 153643, 158644

Elektronapáječky

Typ	: EK 1006v – 2Nb
Krytí	: IP 44 F
Tvar	: M 722
Výkon	: 1850 kW
Jmenovité napětí	: 6000 V
Jmenovitý proud	: 213 A
Jmenovitá frekvence	: 50 Hz
Jmenovité otáčky	: 2985 ot/min.
Výrobní číslo	: 1.132 699, 1.132 698

Hmotnost : 9 630 kg
Rok výroby : 1971
Výrobce : ČKD Praha

Vzduchové ventilátory

Typ : 1YF-500R-4
Krytí : IP 44 /AC01-51
Tvar : IM 1001
Izolace : F
Výkon : 200 kW
Jmenovité napětí : 6000 V
Jmenovitý proud : 24,9 A
Jmenovitá frekvence : 50 Hz
Jmenovité otáčky : 1487 ot/min
Hmotnost : 2500 kg
Rok výroby : 1980
Výrobce : MEZ Drásov

Kouřový ventilátory

Typ : 2N4 600 S- 6
Krytí : IP 44 /AC01-51
Tvar : IM 1001
Izolace : F
Výkon : 400 kW
Jmenovité napětí : 6000 V
Jmenovitý proud : 47,3 A
Jmenovitá frekvence : 50 Hz
Jmenovité otáčky : 990 ot/min
Hmotnost : 3480 kg
Rok výroby : 1989
Výrobce : MEZ Drásov

2. Modernizace rozvodných zařízení

Pod pojmem modernizace si většinou každý z nás představí proces, kdy dochází k přeměně z původního zastaralého stavu na stav nový současný, který je obecně dán:

- Rozvojem v oblasti technologické výroby
- Rozvojem v oblasti materiálového inženýrství
- Neustálou inovací výrobků, která je poháněná především konkurenceschopností
- Zvyšováním nároků na bezpečnost, spolehlivost a komfort

Od vynalezení prvního stálého zdroje elektrického proudu (Voltův článek) a definování základních zákonů v elektrických obvodech uplynulo přes dvě století a v současné době bychom si neuměli představit život bez elektrické energie. V 1. polovině 20. století docházelo k masivní elektrifikaci obcí a tedy k nutné výstavbě elektráren. Typickým příkladem je Teplárna Trmice, jejíž historie začíná výstavbou první větší elektrárny v roce 1916 pro Severočeský kraj. Postupem doby, kdy docházelo k výstavbám velkých elektrárenských bloků na severu Čech s výkony až 200 [MW] se v roce 1974 dokončila rekonstrukce a přeměna elektrárny na teplárnu jako hlavní centrální zdroj tepla pro město Ústí nad Labem. Sto let provozu, při které docházelo ke změnám legislativy, majitelů a zvyšování nároků na množství a kvalitu dodávaného tepla či elektriky bylo vždy nutné výrobní i nevýrobní bloky modernizovat. Jelikož se moderní výrobní zařízení neobejde bez automatizovaného řízení, jehož základem jsou řídicí systémy s akčními členy na elektropohony, bylo vždy zapotřebí modernizovat i rozvodnou síť TTR. Praktickým příkladem je rozvodna R6kV (B68BBA00), která byla vybudována v 70. letech 19. století a od té doby byla částečně modernizována pouze jednou a to jen v rámci rozšíření o nové vývodové pole a propojení ovládání s centrálním řídicím systémem. Z první kapitoly, kde byl shrnut současný stav, byly popsány jednotlivé komponenty a výzbroj rozváděčových polí, jednoznačně vyplývá, že tato rozvodna volá po nové modernizaci.

2.1 Současné trendy v oblasti VN rozvodných zařízení

Na každou část ES jsou z hlediska rozvoje hospodářství kladeny tyto požadavky [1]:

- Zabránit nepříznivým vlivům ES na své okolí, ochrana životního prostředí.
- Možnost řízení dodávky a odběru elektrické energie.
- Práce s co nejvyšší účinností.
- Zajistit bezpečnost, spolehlivost a kvalitu dodávky elektrické energie končným spotřebitelům.
- Zjednodušení činností v rámci údržby a provozu.
- Využití odpadního tepla.
- Dostupnost a jednoduchost použitých materiálů i z hlediska ekologie.
- Zvýšení počtu zdrojů a elektrických stanic.
- Zvýšení parametrů.

U moderních VN rozvodných zařízení je především snahou:

- Prodloužit lhůty revizí a bezúdržbové doby
- Zvýšit životnost mechanických a elektrických částí
- Minimalizace rozměrů.
- Zvýšit bezpečnost osob při obsluhách a údržbě.
- Zvýšit provozní spolehlivost.
- Programové, popř. automatizované řízení
- Zvýšit ochranu před poruchovými jevy s minimalizací případných škod
- Jednoduchost a dodávka kompletního rozvodného zařízení jako jeden celek
- Ekologizace výroby jednotlivých komponent, recyklovatelnost
- Diferenciace typů rozváděčů

2.1.1 Konstrukce a provedení VN rozvodných zařízení

V současné době se pro vnitřní prostory již nové kobkové provedení VN rozvoden nepoužívá. Výjimkou jsou jen rozvodny se dvěma a více systémy přípojníc. V ostatních případech jednoduchého systému o jedné přípojnici se výhradně používají skříňová provedení a tím se docílí značné úspory zastavěné plochy.

Dle potřeb se vyrábějí v modulárním nebo kompaktním provedení. Modulární rozvodna se skládá z řady typových rozváděčových skříní, které se vhodným způsobem dle počtu odboček na přípojnici složí a tvoří tak přehlednou jednotnou řadu, viz **Obr. 5 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Kompaktní provedení nabízí individuální řešení pro speciální aplikace, kde celá kostra tvoří jeden svařený celek a jednotlivé skříňové rozváděče jsou poté namontovány na tuto kostru v různých provedení dle potřeb manipulace a přístupu k výzbroji jednotlivých polí.



Obr. 5. Příklad modulárního provedení skříňové rozvodny.

Základním izolantem mezi živými částmi uvnitř rozváděče je vzduch. VN skříňové rozváděče se vzduchovou izolací patří mezi nejrozšířenější typ. Snaha výrobců o miniaturizaci a zvýšení provozní spolehlivosti včetně vývoje bezúdržbového rozváděče vedl k využití inertního plynu SF₆ jako izolantu. Inertní plyn SF₆ je v elektrotechnice obzvláště v oboru elektrických přístrojů využíván pro tyto vlastnosti:

- Nehořlavý.
- Nejedovatý.
- Velká chemická stálost.
- Vysoká elektrická pevnost.
- Vysoká zhašecí schopnost el. oblouku.
- Vysoká tepelná vodivost.

Díky těmto vlastnostem se stal ve výrobě VVN přístrojů a rozváděčů nenahraditelným izolačním a zhašecím materiálem. Díky úspěchu, který zaznamenal v oblasti VVN, se začal využívat i pro výrobu VN rozváděčů určených pro umístění ve ztížených klimatických podmínkách. Dokonale hermeticky uzavřený rozváděč s plynem SF₆ tak můžeme umístit i do velmi prašného a vlhkého prostředí s téměř bezúdržbovým provozem se zachováním vysoké provozní spolehlivosti. Na druhé straně se na plyn SF₆ vztahuje Kjótský protokol, jelikož přispívá ke skleníkovému efektu. Průzkumy odhadují až 80% podíl celosvětové produkce SF₆ právě pro účely elektroenergetiky [3]. Ochrana životního prostředí je v současné době velmi diskutované téma a někteří výrobci VN rozváděčů se tak rychle přizpůsobují a hledají různé alternativy. Jednou z nich je např. výroba hermeticky uzavřeného rozváděče s použitím spínacích přístrojů s vakuovým zhašením el. oblouku.

2.1.2 Spínací přístroje použité ve VN skříňových rozváděcích.

Hlavním úkolem rozvodny vlastní spotřeby je napájení spotřebičů a to způsobem, aby byly splněny tyto základní funkce:

- Spínání obvodu za normálního provozního stavu
- Spínání obvodu při poruchovém stavu

Pojmem spínání rozumíme proces zapínání a vypínání a k tomu slouží spínač. Podle vypínací schopnosti, tedy velikosti maximálního proudu, který jsou schopny bezpečně vypnout, rozlišujeme tyto spínací přístroje:

- Odpojovače – vypínají obvod bez zatížení.
- Odpínače – vypínají provozní proudy. Některé moderní odpínače zvládají i malé nadproudy.
- Vypínače – vypínají zkratové proudy.

Zvláštním typem spínacího přístroje jsou stykače, které již najdeme i v oblasti VN, kde je vyžadován vysoký počet manipulací během krátkého časového úseku, např. v rámci jedné hodiny.

Hlavní funkcí odpojovače je viditelné odpojení části vedení, pro zvýšení bezpečnosti při provádění údržby. Jelikož díky konstrukci vypínače nejsou vidět kontakty a obsluha byla tak odkázaná pouze na indikátor stavu, umísťovaly se před vypínač přípojnicové odpojovače, popř. i vývodové odpojovače. To vedlo ke složitosti a většímu požadavku na rozměry celé skříně. Efektivní řešení přišlo s výsuvným provedením vypínačů, kde přípojnice a vývody jsou k vypínači připojeny přes roubíky a ty jsou již spolehlivě viditelné. V současné době pro zvýšení bezpečnosti někteří výrobci vybavují tyto otvory pro připojení roubíků automatickými clonami, které zabrání nechtěnému zasunutí vypínače.

Pro vyšší nároky na vypínání a zapínání proudů i vyšších než jmenovitých se používají výkonové vypínače. Ty mají schopnost spínat všechny druhy zátěže a všechny typy poruch a zkratů. Podle způsobu zhasnutí el. oblouku rozlišujeme tyto typy vypínačů:

- Olejové
- Maloolejové
- Tlakovzdušené
- Tlakoplynné – SF₆
- Vakuové
- S magnetickým vyfukováním (DC proud)

Nejstaršími typy vypínačů v oblasti VN byly olejové, později maloolejové vypínače, které se dodnes používají ve starších rozvodnách ve výsuvném provedení. Robustní konstrukce těchto vypínačů vzhledem k poměrně velkému zdvihu pohyblivého kontaktu a nevýhody spojené s účinky oleje v hořícím oblouku vedly k náhradě za tlakovzdušné, později tlakoplynné vypínače. Nejnovější typ vypínače spojil výborné vlastnosti obou předešlých bez jejich nevýhod a k uhašení oblouku využívá vakuum mezi kontakty. Zdvih pohyblivého kontaktu je malý a celá konstrukce je tak v poměru s ostatními menší. Životnost nejnovějších vakuových vypínačů VN dosahuje až 30000 spínacích cyklů.



Obr. 6. Vakuový vypínač typu VD4 od firmy ABB výsuvného provedení pro VN rozváděč řady ZS1.

Vypínač na **Obr. 6. Vakuový vypínač typu VD4 od firmy ABB výsuvného provedení pro VN rozváděč řady ZS1.** Obr. 6 je výsuvného provedení pro VN rozváděč řady ZS1 od firmy ABB []. Na předním panelu jsou umístěny signalizační a ovládací prvky pro obsluhu:

- Nastavení a vyřazení podpětíové spouště
- Tlačítko pro zapnutí a vypnutí
- Počítadlo provozních manipulací
- Indikátor stavu vypínače (vypnuto/zapnuto)
- Ruční střadací mechanismus pro natažení pružin
- Indikátor stavu ovládacího mechanismu pružin

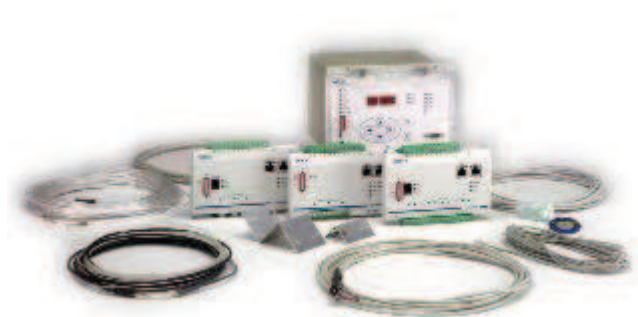
Současným trendem v modernizaci rozvodů je výměna všech starších maloolejových vypínačů, které již nesplňují požadavky kladené na bezpečnost, spolehlivost a hospodárnost provozu rozvodného zařízení VN, za tlakové nebo vakuové vypínače.

2.1.3 Ochrany používané ve VN skříňových rozváděcích.

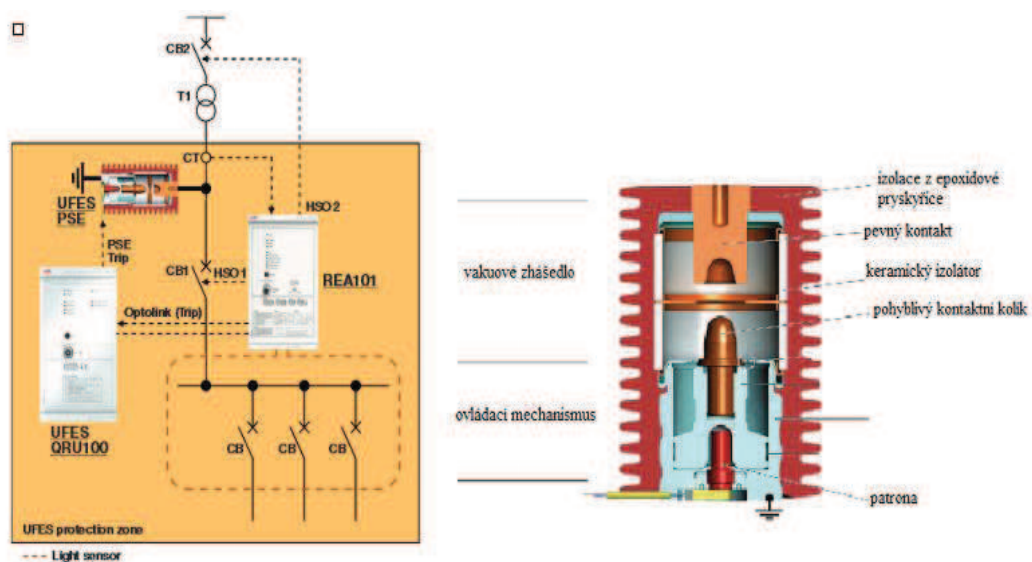
V kabelovém, přípojnicovém nebo v prostoru vypínače uvnitř skříňového VN rozváděče může vzniknout el. oblouk o vysoké teplotě vlivem:

- Poruchy na zařízení VN v rozváděči
- Přepětí v síti (blesk, provozní přepětí)
- Koroze, znečištění a jiného nedokonalého spojení proudovodných částí
- Nedodržení bezpečnosti práce (lidský faktor)
- Vniku drobných zvířat do vnitřního prostoru a způsobení následného zkratu

Před účinky tohoto el. oblouku, který může způsobit požár a tím rozsáhlé škody na celém rozváděči, ale může i ohrozit na životě samotnou obsluhu, chráníme celý prostor rozváděče vhodnými měřicími přístroji a mechanismy, které ve velmi rychlém časovém úseku vybaví vypínač a tím rozpojí postiženou část rozvodny. Ve vzduchem izolovaných skříních to může být odfuková klapka v horní části, která vlivem tlaku hořících plynů v el. oblouku vyrazí a způsobí na mikrospínač, který v řádu desítek milisekund vybaví vypínač. Modernější rozváděče jsou vybaveny tzv. zábleskovými ochranami. Tato ochrana je založená na měření proudu VN vývodu a vyhodnocení signálu od senzoru detekující záblesk v chráněném objektu v počítači, který následně vyšle impuls pro vypnutí vypínače, viz *Obr. 7*. Nejmodernější rozváděče, např. od firmy ABB, využívají tzv. ultra rychlý uzemňovač UFES (Ultra Fast Earthing Switch), viz *Obr. 8*. Princip spočívá v odpálení patrony umístěné ve speciálním podpěrném izolátoru při nárůstu zkratového proudu a současné detekci záblesku. Postižená fáze je tak v mžiku do 4 milisekund uzemněna a vzniklý zemní zkratový proud vypne nadřazená ochrana v podobě např. vypínače.



Obr. 7. Digitální záblesková ochrana VN skříňových rozváděčů.

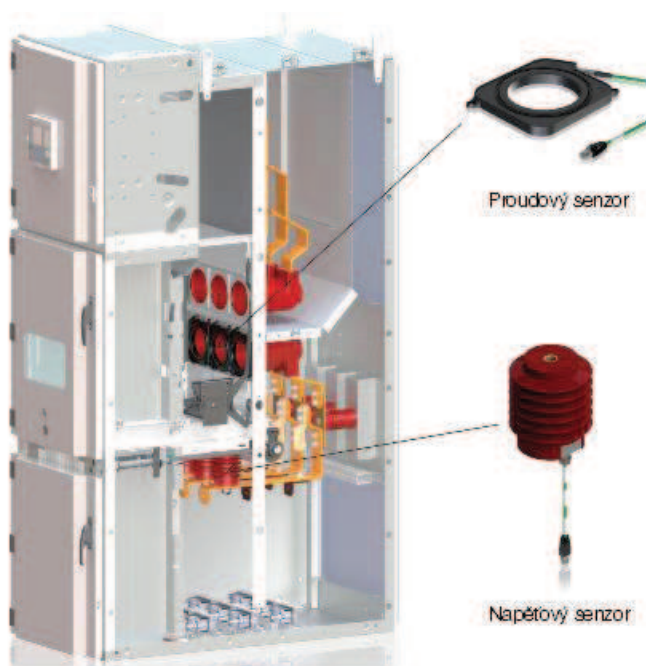


Obr. 8. UFES – ultra rychlý uzemňovač vpravo a schéma zapojení vlevo od firmy ABB.

2.1.4 Měření a řízení

Pro měření proudů a napětí se využívá analogových a dnes již digitálních měřicích přístrojů. V oblasti VN je však nejprve nutné měřený proud či napětí vhodným způsobem upravit na unifikované hodnoty, které vhodný měřicí přístroj dokáže s danou přesností změřit. K převodu proudů a napětí na unifikované hodnoty využíváme měřicí transformátory proudu a napětí. Tyto přístroje byť jsou malé, nejsou bez ztrát. Vzhledem k jejich teoreticky non-stop provozu a teoretické životnosti celého rozváděče, která může být až 30 let, nejsou tyto ztráty zanedbatelné. Firma ABB, tak představila v roce 2014 na veletrhu Ampér novou koncepci skříňového rozváděče VN, kde měřicí transformátory proudu a napětí jsou nahrazeny senzory proudu a napětí, viz *Obr. 9*. Za tuto inovaci v oblasti VN rozváděčů získala zlatý Ampér 22. ročníku. Tato nová koncepce vede k:

- Úspoře provozních nákladů.
- Snížení celkové hmotnosti.
- Snížení celkových rozměrů (absence samostatného pole pro měření).
- Zkrácení dodací lhůty konečnému zákazníkovi až o 30%.
- Úspora až 150-ti tun CO₂ (za předpokladu provozu po dobu 30-ti let v rozsahu 14-ti polí).
- Rychlejší příprava, instalace a uvedení do provozu.



Obr. 9. Použité proudové a napěťové senzory v nové koncepci skříňového VN rozváděče od firmy ABB.

2.1.5 Výrobci VN skříňových rozváděčů a typové řady

Obecně jsou rozvodná zařízení souborem elektrických přístrojů a tak výroba VN rozvodných skříní patří především mezi produkty předních výrobců těchto přístrojů. Mezi nejznámější světové výrobce patří:

- Elfraplus s.r.o.
- ABB
- Siemens
- SwitchGear Company (zkráceně SGC)
- Schneider Electric
- Eaton
- Efacec
- Dribo

Současným trendem je unifikace výrobních řad. Příklady vyráběných typů a srovnání jednotlivých firem viz. Tab. 3, Tab. 4 a Tab. 5.

Průmyslové podniky a jiné firmy, které ve svém objektu vyžadují napájení VN spotřebičů většinou nemají kvalifikované pracoviště, které by se zabývalo projektováním rozvodných zařízení včetně samotné montáže. Kromě tedy výrobců VN rozvodných zařízení nabízejí dodavatelské firmy kompletní návrh, vypracování projektové dokumentace, dopravu a montáž včetně všech potřebných zkoušek. V energetice mezi přední dodavatele těchto služeb patří:

- OT Energy
- Bohemia Muller
- SG-Brno

Tab. 3. Typové řady VN rozváděčů od firmy ABB.

Typ	Druh izolace	Jmenovité napětí (kV)	Jmenovitý proud hlavní přípojnice (A)	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (kA)	Jmenovitý dynamický výdržný proud (kA)
------------	---------------------	------------------------------	--	--	---

ZX0	Plyn SF6	24	1250	25	62,5
UniGear ZS1	Vzduch	7,2 - 24	1250 - 4000	50 - 31,5	125 - 80
UniGear 500R	Vzduch	7,2 - 17,5	1250 - 4000	16-31,5	125 - 80
ZS8.4	Vzduch	12 - 24	630 - 1250	16 - 25	100 - 60



Obr. 10. Typové řady VN rozváděčů od firmy ABB. Od levé strany typy 500R, ZS1 a ZX0.

Tab. 4. Typové řady VN rozváděčů firmy SIEMENS.

Typ	Druh izolace	Jmenovité napětí (kV)	Jmenovitý proud hlavní přípojnice (A)	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (kA)	Jmenovitý dynamický výdržný proud (kA)
SIMOSEK	Vzduch	7,2 - 24	1250	25 - 20	63 - 50
8DJH	Plyn SF6	7,2 - 24	630	25 - 20	63 - 50
NXAIR	Vzduch	7,2 - 17,5	2500	40 - 25	100 - 63
8DA10	Plyn SF6	12 - 40,5	4000	40	110



Obr. 11. Typové řady VN rozváděčů od firmy SIEMENS. Od levé strany typy SIMOSEC a 8DA10.

Tab. 5. Typové řady VN rozváděčů firmy ZPUE.

Typ	Druh izolace	Jmenovité napětí (kV)	Jmenovitý proud hlavní přípojnice (A)	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (kA)	Jmenovitý dynamický výdržný proud (kA)
Rotoblok VCB	Plyn SF6	24	630/1250	16/20	63
AIR 12	Vzduch	12	2500	20	80
SF 36	Plyn SF6	30	630	40	100
TPM-24	Plyn SF6	20	630	16	80



Obr. 12. Typové řady VN rozváděčů od firmy ZPUE. Od levé strany typy VCB, AIR 12 a SF 36

2.1.6 Normy a typové zkoušky

Rozvodna je souborem elektrického zařízení, jehož provoz může za určitých podmínek způsobit škody na majetku nebo ohrozit lidský život. Výrobce je tak povinen při výrobě takového výrobku splnit minimální požadavky, které jsou na ně obecně kladeny. Tyto požadavky nazýváme normami. Rozváděče VN by měly minimálně splňovat tyto normy:

ČSN 33 2000-4-41 ed.2	Elektrotechnické předpisy - Ochrana před úrazem elektrickým proudem
ČSN 33 3201	Elektrické instalace nad AC 1kV.
ČSN 33 3210	Elektrotechnické předpisy. Rozvodná zařízení. Společná ustanovení.
ČSN 33 3220	Společná ustanovení pro elektrické stanice vč. změny a-8/90.
ČSN 33 3231	Trojfázové rozvodny pro napětí do 52kV.
ČSN 33 3015	Elektrické stanice a elektrická zařízení. Zásady dimenzování podle elektrodynamické a tepelné odolnosti při zkratech.
ČSN EN 50110-1 ed.2	Obsluha a práce na elektrických zařízeních.
ČSN EN 60909-0	Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů.
ČSN EN 60298	Kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí od 1 kV do 52 kV včetně.
ČSN EN 62271-200	Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 200: Kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV včetně.

Například poslední uvedená norma ČSN EN 62271-200 je platná od roku 2007 a stanovuje nové klasifikace rozváděčů VN podle údržby vzhledem k nepřerušitelnosti provozu, dále určuje třídu odolnosti proti vnitřnímu obloukovému zkratu, tzv. IAC třída a rozšiřuje typové zkoušky s přímou souvislostí na bezpečnost a spolehlivost rozváděče.

Typové zkoušky jsou v dnešní době neodmyslitelnou součástí výroby všech předních výrobců VN rozváděčů. Některé typy zkoušek jsou dokonce předváděny přímo za účasti zákazníka, což je velmi dobrý marketingový tahem. Uživatelé je tak předvedeno chování rozváděče v mezích provozních stavech, které mohou za určitých podmínek i reálně nastat. Typickým příkladem jsou zkratové zkoušky, které se většinou provádějí ve speciálních zkušebnách s mezinárodní akreditací.

Přední výrobci VN rozváděčů dodávající výrobky do celého světa, pokud chtějí být na trhu úspěšní, většinou podrobují tyto rozváděče typovým zkouškám podle norem IEEE. Tyto standardy IEEE C37.20.2-1999 se vesměs neliší od české technické normy ČSN EN 62271-200. Patří k nim např.:

- Zkouška krátkodobým výdržným proudem (Momentary with current test dle C37.20.2-1999) prokazuje schopnost rozváděče VN odolat mechanickému namáhání při zkratu.
- Zkouška zkratovým výdržným proudem (Short-time withstand current test) prokazuje schopnost rozváděče VN odolat tepelným a mechanickým účinkům zkratového proudu.

2.2 Důvody modernizace rozvodny R6kV (B68BBA00)

Z porovnání současného stavu z první kapitoly a současných trendů a požadavků na rozvodná zařízení VN vyplývají tyto důvody:

- Rozváděč na konci životnosti. První část rozvodny z roku 1973 a 2. část z roku 1982.
- Náhradní díly nejsou skladem a převážná část použitých přístrojů se již nevyrábí.
- Zastaralé vypínače VN maloolejové. Olej jako zhašecí médium nevyhovuje dnešním požadavkům na ekologii a bezpečnost provozu. Vypínače jsou robustní a vyžadují pravidelnou údržbu dle počtu spínacích cyklů.
- Sjednocení ovládání obou částí z centrálního velínu. Jednotný řídicí systém Honeywell.
- Zvýšení bezpečnosti obsluhy při provozních a údržbových manipulacích.
- Zvýšení požární ochrany.

Vzhledem k plánované ekologizaci kotle K6 v roce 2017 je předpoklad provozu celého výrobního bloku TTR II minimálně do roku 2030. Projekt ekologizace kotle K6 je stále zatím ve fázi tvorby konečné koncepce. Jedna z variant, s kterou se v projektu počítá je možnost frekvenčního řízení otáček VN motorů pro vzduchové a spalínové ventilátory. V ostatních případech by modernizace kotle K6 za účelem snížení NO_x nijak neovlivnila požadavky kladené na rozvodnu R6kV-K6 (B68BBA00).

3. Návrh technického řešení modernizace rozvodny

3.1 Kompletní výměna stávajících rozváděčových skříní bez výměny kabelového vedení

Tato koncepce by počítala s kompletní náhradou stávajících rozváděčových skříní včetně celkové výzbroje dané požadavky na ochranu a funkčnost jednotlivých odboček na jednoduchém systému přípojnice. Transformátory vlastní spotřeby (T21, T28, a T25) umístěné v rozvodně R6kV – K6 (B68BBA00) zůstávají beze změn včetně všech kabelových vývodů k jednotlivým spotřebičům a kabelových přívodů.

3.1.1 Napěťové úrovně

Rozváděče budou dle normalizované stupnice střídavých sdružených napětí, zvoleny pro třífázové napětí o jmenovité hodnotě 6 kV s maximálním provozovacím napětím do 7,2 kV.

Napájení ovládacích, signalizačních a řídicích NN obvodů bude zachováno a bude použit stávající zdroj stejnosměrného napětí 220 V umístěného v centrální akumulátorové stanici.

3.1.2 Spojení uzlů vinutí transformátorů

Transformátory T11 a T13 nemají uzel sekundárního vinutí spojený se zemí a z tohoto hlediska je síť na této straně transformátoru posuzována jako síť izolovaná.

3.1.3 Zkratová odolnost

Pro určení potřebné zkratové odolnosti rozváděče vycházíme z technické zprávy – výpočet zkratových poměrů z roku 2004 vypracovanou firmou VATECH EZ a.s. Hodnoty rázových zkratových proudů I_k'' v rozvodné síti TTR viz Tab 6. Předpokladem jsou stejné poměry a parametry jednotlivých částí sítě.

Tab 6. Vypočtené hodnoty počátečních rázových zkratových proudů v síti TTR.

místo zkratu	počáteční rázový zkratový proud I_k''			
	třífázový		jednofázový	
	max.	min.	max.	min.
bod A - rozvodna 110kV	19,00	4,40	9,17	3,51
bod B - rozvodna 35kV	8,14	2,25	8,16	0,92
bod C - rozvodna 6kV 4BBA	19,94	19,49	22,14	21,70
bod D - rozvodna 6kV 5BBA	21,84	19,48	22,07	22,07
bod E - rozvodna 0,4kV 4BFA	21,79	21,68	20,86	20,77
bod F - rozvodna 0,4kV 5BFA	21,79	21,68	20,86	20,77

bod G - rozvodna 6kV K105	17,65	6,31	17,48	16,17
bod H - rozvodna 6kV K106	17,65	6,31	17,48	16,17
bod CH - rozvodna 6kV K107	24,83	9,31	24,87	9,87
bod I - rozvodna 6kV K108	24,83	9,31	24,87	9,87
bod J - rozvodna 6kV R6HO	10,59	6,19	6,83	4,82
bod K - rozvodna 6kV 0BBA	21,66	19,66	19,28	17,30
bod L - rozvodna 6kV 0BBB	21,66	19,66	19,28	17,30
bod M - připojení reaktoru R12	19,94	14,34	21,81	16,17
bod N - připojení reaktoru R13	19,94	14,34	21,81	16,17
bod O - rozvodna 6kV VTK	13,19	10,69	10,74	10,12

Pro určení maximální velikosti zkratového proudu, který musí rozváděč po určitou dobu vydržet, minimálně do zapůsobení ochran použijeme vztah:

$$I''_{km} = I_{k''} \times \sqrt{2} = 17,65 \times \sqrt{2} \cong 25 \text{ (kA)} \quad (1)$$

Tento výpočet předpokládá dostatečnou vzdálenost místa zkratu od zdroje, kde můžeme stejnosměrnou složku zkratového proudu zanedbat.

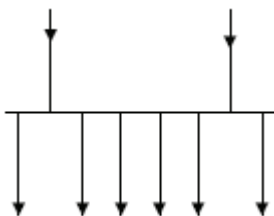
Z vypočtené hodnoty maximální velikosti zkratového proudu můžeme vybrat z tabulky Tab. 7 nejbližší vyšší řadu zkratové odolnosti, ve které se rozváděče VN vyrábějí.

Tab. 7. Normalizované řady zkratových odolností.

Jmenovitý vypínací proud I_{vyp} (kA)	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý krátkodobý proud I_{ke} (kA)	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý dynamický proud I_{dyn} (kA)	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

3.1.4 Přípojnicový systém

Z hlediska druhého stupně důležitosti zajištění napájení výrobního bloku TTR III je použit jednoduchý systém přípojnice s dvěma přívodními odbočkami pro napájení ze dvou nezávislých zdrojů.



3.1.5 Určení provedení z hlediska působení vnějších vlivů

Dle ČSN 33 2000-3 a ČSN 33 2000-5-51 je prostor v rozvodně brán z hlediska působení vnějších vlivů jako normální prostředí a není tedy zpracován protokol o určení vnějších vlivů. Elektrické zařízení musí splňovat základní odolnost v kategorii:

AA5 okolní teplota: $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$

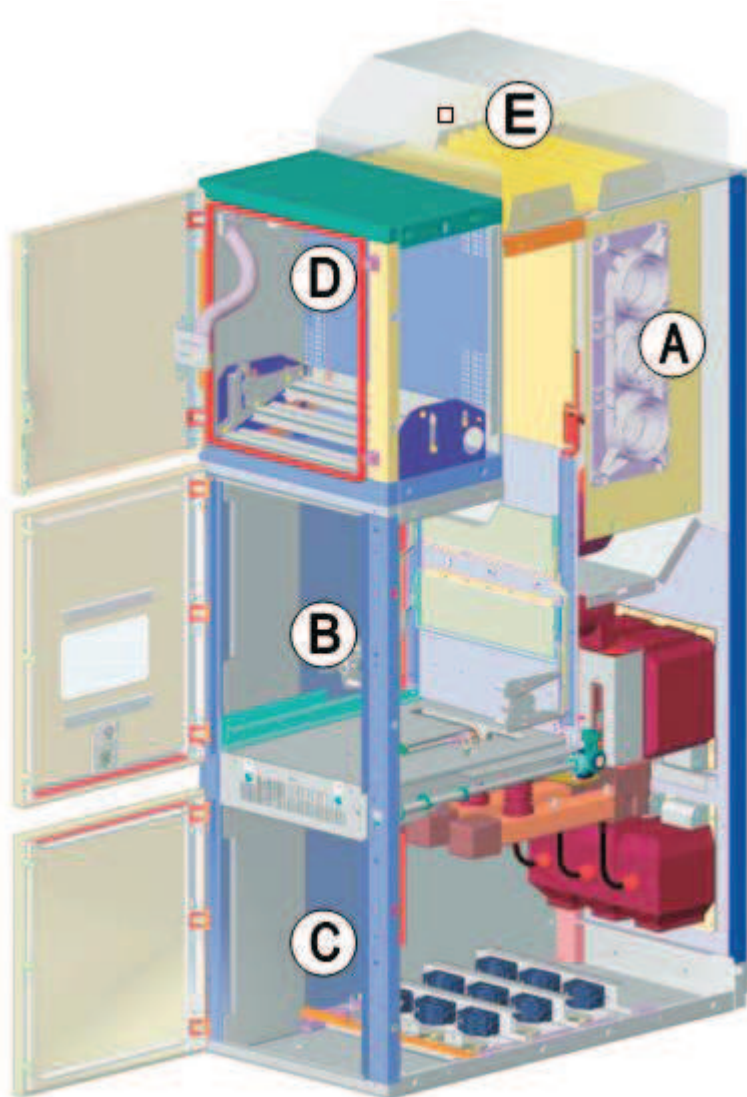
Z tohoto důvodu je optimálním řešením skříňový rozváděč se vzduchovou izolací v modulárním provedení pro sestavení souvislé řady v počtu 26 - ti polí.

3.1.6 Způsob provozu

Elektrické rozvodné zařízení by mělo splňovat veškeré podmínky pro bezobslužný provoz.

3.1.7 Typ rozváděče

V předchozí kapitole byl uveden výčet nejvýznamnějších výrobců rozvodných zařízení VN a příklady jejich produktů. Pro tuto diplomovou práci jsem si vybral firmu ABB, která bezesporu patří mezi světovou špičku ve výrobě elektrických přístrojů a rozváděčů v oblasti VN. Dalším důvodem jsou dobré reference přímo z oddělení PoZ elektro a Mar v TTR a v neposlední řadě mají veškeré potřebné informace veřejně přístupné na webových stránkách, viz seznam použité literatury. Z jejich produktové řady dle potřebné zkratové odolnosti a napěťové úrovně je jednou z možností **typ UNIGEAR ZS1**. Kovově zapouzďený rozváděč izolovaný vzduchem, který svým provedením (vzájemné oddělení jednotlivých prostor, blokování dveří a nedovolených manipulací) zajišťuje vysokou bezpečnost pro obsluhu a spolehlivost provozu.

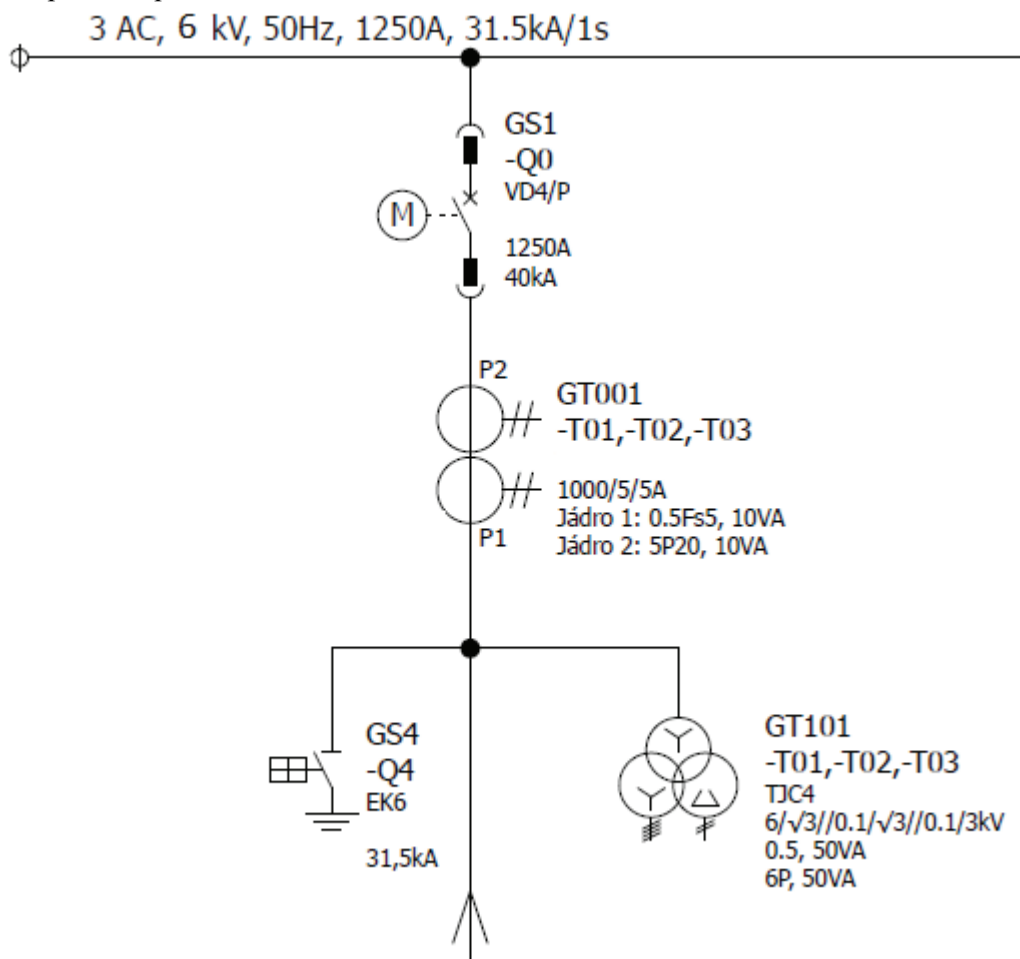


- A – oddíl přípojníc
- B – oddíl přístroje VN
- C – oddíl kabelového přívodu
- D – oddíl přístrojů NN
- E – odfukový kanál

Detailní popis tohoto rozváděče UNIGEAR ZS1 včetně všech jednotlivých komponent najdeme přímo na stránkách firmy ABB [4]

3.1.8 Schéma odbočky

Pro přívodní pole:

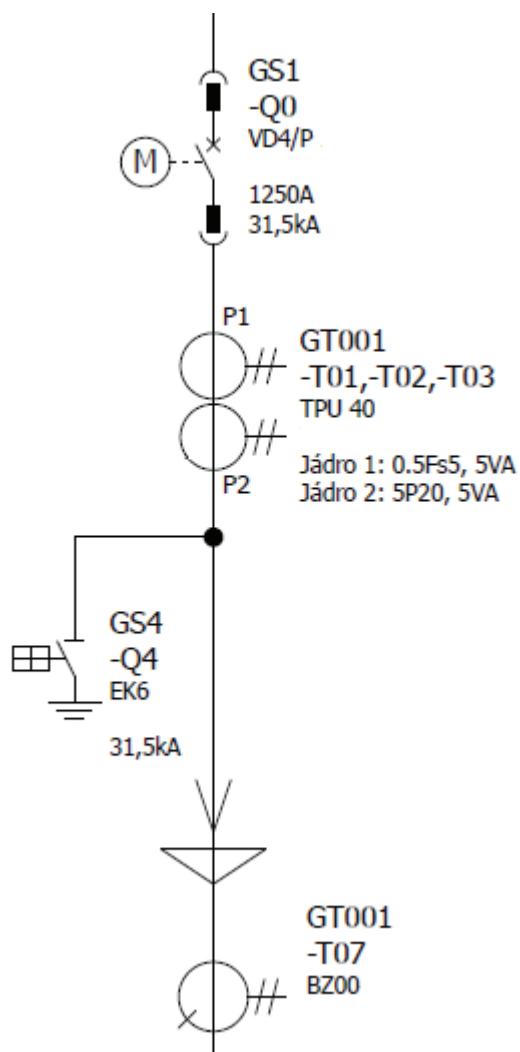


Pro měření napětí na jednotlivých fázích bude použit měřicí transformátor napětí typ TJC4, Obr. 13. a pro měření proudové zatížitelnosti bude použit měřicí transformátor proudu TPU 4x.

Pro zajištění bezpečnosti při práci na odpojené části se použije uzemňovač EK6 s mžikovým vypínacím mechanismem, Obr. 14.

Pro spínání přívodního pole bude použit vypínač VD4 s vakuovým zhašecím systémem, Obr. 6. s motorovým pohonem.

Pro vývodové pole – motory:

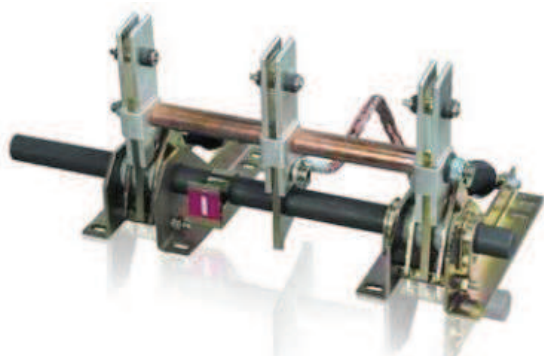


Obdobně jako u přívodního pole bude použit vypínač VD4 s vakuovým zhášecím systémem. Pro zajištění bezpečnosti při práci na odpojené části se použije uzemňovač EK6 s mžikovým vypínacím mechanismem.

Pro měření proudové zatížitelnosti bude použit měřicí transformátor proudu TPU 4x a na výstupu bude umístěn proudový senzor typu BZ00, Obr. 15.



Obr. 13. Jednopolový měřicí transformátor napětí TJC4.



Obr. 14. Uzemňovač EK6 pro vnitřní prostředí.



Obr. 15. Proudový senzor BZ00.

3.1.9 Ovládání a ochrany

Pro motorové vývody bude použito inteligentní elektronické zařízení REM615, které je určeno speciálně pro měření, ovládání a ochranu AM motorů ve výrobních a průmyslových provozech. Bližší specifikace viz [5].

Budou zajištěny tyto základní ochranné funkce:

- Ochrana proti tepelnému přetížení.
- Funkce kontroly doby rozběhu
- Ochrana při zablokovaném rotoru
- Ochrana proti opakovanému rozběhu motoru s nežádoucími účinky
- Nesměrová zemní ochrana, popř. směrová
- Ochrana proti nesymetrickému zařízení
- Podpěťová a přepěťová ochrana
- Frekvenční ochrana

Komunikace bude zajištěna přes protokol IEC 61850.

3.1.10 Cenová kalkulace

Následující uvedené ceny v Tab. 8 jsou pouze orientační.

Tab. 8. Cenová kalkulace pro variantu dle bodu 3.1.

Název položky	Počet	Cena za jednotku (Kč)	Celkem (Kč)
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - motorový vývod	10	120 000	1 200 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - transformátorový vývod	5	90 000	450 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - přívod	2	110 000	220 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - měření	1	60 000	60 000
Rozváděčová skříň ZS1 bez výbroje - volné	3	20 000	60 000
Demontáž a likvidace stávajícího rozváděče	1	150 000	150 000
kabelové spojky	54	7 000	378 000
Montážní práce	200	360	72 000
Doprava	1	50 000	50 000

Projektová dokumentace včetně MPP	1	300 000	300 000
Elektroinstalační materiál (průchodky, koncovky, atd.)	1	50 000	50 000
CELKEM			2 990 000

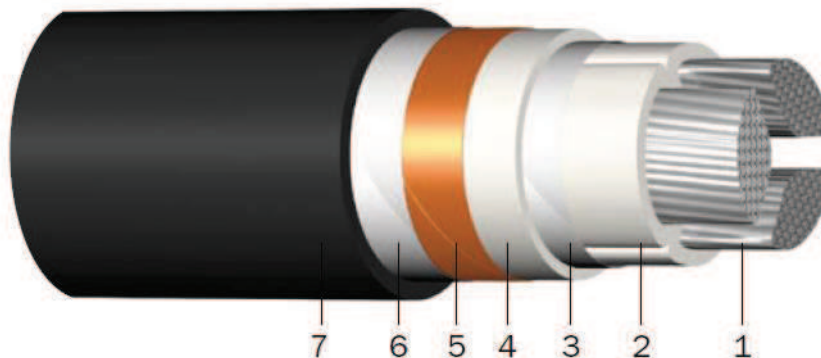
3.2 Kompletní výměna stávajících rozváděčových skříní s výměnou kabelového vedení

Návrh řešení se shoduje s bodem 3.1 s rozdílem, že výstupní kabely VN nebudou zachovány, ale budou kompletně vyměněny. Tato varianta vychází z předpokladu, že pokud bude modernizován kotel K6 včetně rozvodny VN, tak původní kabelové vedení bude potencionálním nebezpečím pro budoucí provoz výrobního bloku TTR II. Předpokládá se zachování kabelových kanálů a průlezů.

3.2.1 Soupis stávajících kabelů

Odkud	Kam	Typ	Délka (m)
Pole č.4	T21	6-ANKAY 3x185	10
Pole č.5	T28	6-ANKAY 3x185	50
Pole č.6	7R5VTK	6-AYKCY 3x120	200
Pole č.7	T25	6-ANKAY 3x185	60
Pole č.8	VV1	6-AYKCY 3x120	65
Pole č.9	VV2	6-AYKCY 3x120	75
Pole č.10	EN11	6-AYKCY 3x240	70
Pole č.14	T30	6-ANKAY 3x185	20
Pole č.15	T32	6-ANKAY 3x185	25
Pole č.16	MO64	6-AYKCY 3x120	68
Pole č.17	MO63	6-AYKCY 3x120	51
Pole č.18	MO62	6-AYKCY 3x120	72
Pole č.20	MO61	6-AYKCY 3x120	55
Pole č.21	KV1	6-AYKCY 3x120	120
Pole č.22	KV2	6-AYKCY 3x120	120
Pole č.25	EN13	6-ANKAY 3x185	60

Pro motorové vývody je použit kabel typu 6-AYKCY:



Konstrukce:

- 1 Al jádro (RM, SM)
- 2 Izolace (PVC), žíly jsou stočené do duše kabelu
- 3 Obal (plastová páska nebo výplňová guma)
- 4 Ochrana (PVC bezbarvý)
- 5 Stínění (Cu páska, případně Cu dráty s protispirálou Cu páskou)
- 6 Obal (plastová páska)
- 7 Plášť (PVC černý, odolný proti UV záření)

3.2.2 Dimenzování vodičů – kontrola

V praxi silnoproudé vodiče musíme vhodně nadimenzovat, aby byly splněny tyto požadavky:

- Odolnost proti dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.
- Úbytek napětí v dovozených mezích.
- Mechanická pevnost
- Hospodárnost – vhodný průřez
- Dovozené oteplení v mezích provozních teplot

V případě např. pro kabelové vedení motoru EN13 vypočteme nejprve proudové zatížení:

$$I_z = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{1850}{\sqrt{3} \times 6 \times 0,85 \times 0,95} = 220,5 \text{ (A)} \quad (2)$$

Průřez [mm ²] hliník	Dovolené proudy I _n [A]											
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	-
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

Dle hodnoty dovoleného proudové zatížení zvolíme nejbližší vyšší průřez:

$$S = 150 \text{ mm}^2$$

Dále by se provedla kontrola úbytku napětí podle vztahu:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U \times 100}{U_n} \times \sqrt{3} \leq 5\% \quad (3)$$

3.2.3 Cenová kalkulace

Název položky	Počet	Cena za jednotku (Kč)	Celkem (Kč)
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - motorový vývod	10	120 000	1 200 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - transformátorový vývod	5	90 000	450 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - přívod	2	110 000	220 000
Rozváděčová skříň ZS1 včetně výbroje - měření	1	60 000	60 000
Rozváděčová skříň ZS1 bez výbroje - volné	3	20 000	60 000
Demontáž a likvidace stávajícího rozváděče	1	150 000	150 000
Montážní práce	200	360	72 000
Doprava	1	50 000	50 000

Projektová dokumentace včetně MPP	1	300 000	300 000
Elektroinstalační materiál (průchodky, koncovky, atd.)	1	50 000	50 000
Kabely VN 6-AYKCY	898	500	449 000
Pokládka nové kabeláže	300	360	108 000
Likvidace staré kabeláže	150	360	54 000
CELKEM			3 223 000

Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit stávající stav rozvodny R6kV-K6 s ohledem na budoucí předpokládaný provoz výrobního bloku TTR II minimálně do roku 2030 a navrhnout možné varianty modernizace.

Celkový stav výzbroje jednotlivých rozváděčových skříní je zastaralý a nesplňuje současné požadavky na bezpečnost a spolehlivost provozu. Ochrana obsluhy při provozních a údržbových manipulacích je nedostatečná a vyžaduje vysokou obezřetnost. Použité vypínače s maloolejovým zhášecím systémem jsou potencionálním zdrojem jedovatých emisí v případě vzniku požáru a jejich provoz vyžaduje neustálou kontrolu a pravidelnou výměnu oleje. Ovládání není jednotné a některé provozní manipulace vyžadují přítomnost obsluhy přímo v rozvodně. V případě poruchy nemají elektronické ochrany paměť a nelze tak zpětně analyzovat příčinu a přesný čas vzniku.

Z výše uvedených důvodů je modernizace této rozvodny nezbytná a vzhledem k ekologizaci kotle K6 a jeho prodloužení životnosti musí být zajištěno i spolehlivé napájení VN spotřebičů. Konečná koncepce rekonstrukce K6 je zatím stále ve fázi přípravy a proto nelze určit jednoznačně požadavky kladené na rozváděč VN. Předpokladem je však zachování všech stávajících pohonů beze změny zatížení.

V kapitole 3 jsem uvedl dvě možné varianty řešení lišící se pouze v tom, zda bude vyměněno i kabelové vedení. Jakékoliv jiné možnosti, jako např. částečný retrofit, kde by se vyměnila pouze starší část rozvodny nebo by došlo pouze k náhradě maloolejových vypínačů není přínosná a neřeší celkový stav rozvodné sítě VN pro výrobní blok TTR II, která je celkově na prahu životnosti. Cenová kalkulace jednotlivých variant se liší pouze zhruba o 300 000 Kč a jde tedy pouze o rozdíl v časové náročnosti. Pro popis a výčet jednotlivých předností současných rozváděčů VN skříňového provedení jsem vybral typ ZS1 od firmy ABB, který splňuje veškeré požadavky na bezobslužnost, bezpečnost a spolehlivost provozu. Výzbroj jednotlivých polí jsem volil s ohledem na minimální funkci a ochranu jednotlivých vývodů.

Použitá Literatura

- [1] Zdeněk Hradílek, *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*, VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-7225-291-6
- [2] Jaroslava Orságová, *Rozvodná zařízení*, VUT Brno, 2004
- [3] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44228.pdf>
- [4] https://library.e.abb.com/public/0d7a8430a68945f4c1257de0004f8b19/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_cz.pdf?filename=Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_cz.pdf
- [5] https://library.e.abb.com/public/d8df98b95828ae4ac1257917003d3dec/REM615_pg_757360_CZa.pdf

Seznam příloh

Příloha č.1 - Celkový přehled elektrické rozvodné sítě TTR, formát A3

Příloha č.2 – Jednopolové schéma rozvodny R6kV-K6, formát A3, rozdělené na 3 části